



## Overfladetemperatur af belægningsprobe

Clausen, Sønnik; Sørensen, L.H.; Hu, G.; Jensen, P.A.; Simonsen, P.; Berg, M.

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Clausen, S., Sørensen, L. H., Hu, G., Jensen, P. A., Simonsen, P., & Berg, M. (2004). *Overfladetemperatur af belægningsprobe*. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risø. Risø-R No. 1476(DA)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Risø-R-1476(DA)

# Overfladetemperatur af belægningsprobe

Sønneklausen

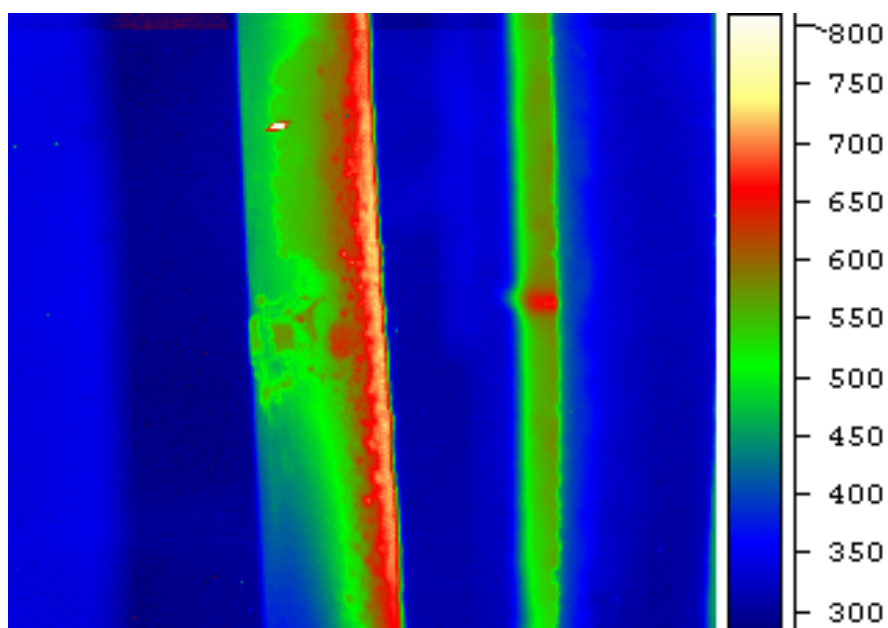
Lasse Holst Sørensen

Guilin Hu

Peter Arendt Jensen

Peter Simonsen

Mogens Berg



Forskningscenter Risø  
Roskilde  
Danmark  
Juli 2004

**Forfatter:** Sønnik Clausen<sup>1</sup>  
Lasse Holst Sørensen<sup>2</sup>  
Guilin Hu<sup>3</sup>  
Peter Arendt Jensen<sup>3</sup>  
Peter Simonsen<sup>4</sup>  
Mogens Berg<sup>4</sup>  
**Titel:** Overfladetemperatur af belægningsprobe  
(Surface temperature of deposit probe)  
**Afdeling:** Optik og Plasmaforskning

<sup>1</sup> Forskningscenter Risø, <sup>2</sup> ReaTech  
<sup>3</sup> Kemiteknik at DTU, <sup>4</sup> Energi E2

**Resume (max. 2000 char.):**

Belægningsdannelser ved fyring med biomasse kan give anledning til driftforstyrrelser og problemer såsom tæring af hedeflader, forringede varmeoverføringsforhold i kedlen samt aflejringer som skaber forringede flowforhold i kedlen. Belægningsdannelse kan søges undersøgt på laboratorieskala i en fastbrændselsreaktor af flowreaktor typen, hvor især temperaturforholdene i reaktoren og på belægningsproben tilstræbes, at være så realistiske og velbestemte som mulige. Som en del af biostøvfyringsprojektet undersøges overfladetemperaturforhold af faststofreaktorens belægningsprobe som funktion af tid og belægningsudvikling vha. et infrarød kamera. Desuden er belægningstemperaturer målt med samme udstyr på overhedere på Avedøre biokedlen under halm-forbrænding til sammenligning af temperaturforhold. På Avedøre biokedel måles belægningstemperaturerne på overhederne til 850°C - 1000°C. Dette er væsentligt højere end i faststofreaktorforsøgene, hvor belægningsoverfladetemperaturerne måles til 550°C - 710°C. Ved påbrænding af partikler på probe og overheder ses lokalt overfladetemperaturer som er 90°C - 150°C højere end temperaturniveauet af belægningen.

Deposits formation in biomass combustion may cause operational irregularities and problems like corrosion of heating surfaces, decreased heat transfer conditions in the boiler. Deposits formation may be sought investigated in a laboratory scale in a solid fuel reactor of the flow reactor type, where in particular the temperature conditions in the reactor and on the deposits probe is targeted to be as realistic and well determined as possible. As a part of the biomass firing project the surface temperature relations of the solid fuel reactor is investigated as a function of time and deposits evolution using an infrared camera. Additionally for comparison Avedøre biofuel boiler (ABB) deposits temperatures at the super heaters are monitored using the same equipment and during straw combustion conditions. At ABB the superheater deposits are monitored to be 850°C - 1000°C. This is significantly higher than in the solid fuel reactor, where the monitored deposits temperatures were 550°C - 710°C. For burning particles depositing on the probe and superheater local excess temperatures are monitored, that are around 90°C - 150°C higher than the temperatures of the superheater deposits.

**Rapportnummer** Risø-R-1476(DA)  
**Udgivelsesdato** Juli 2004

**ISSN** 0106-2840  
**ISBN** 87-550-3366-0(Internet)

**Kontrakt nr.:**

PSO projekt FU 2203 og FU 3205

**Gruppens reg. nr.:**

1700120-1

**Forside :**

Termografisk billede af belægningsprobe under forsøgsmålinger på DTU. Flyvende brændende trækokspartikel med en overfladetemperatur på ca. 797°C ses øverst i billedet (hvid) ud for belægningsproben.

**Sider:** 16  
**Tabeller:** 0  
**Referencer:** 5

Forskningscenter Risø  
Afdelingen for Informationsservice  
Postboks 49  
DK-4000 Roskilde  
Danmark  
Telefon +45 46774004  
[bibl@risoe.dk](mailto:bibl@risoe.dk)  
Fax +45 46774013  
[www.risoe.dk](http://www.risoe.dk)

# Indhold

## **Forord 4**

## **1 Introduktion 5**

## **2 Apparatur 6**

### **2.1 Forsøgsopstilling 8**

## **3 Temperaturmålinger på belægningsprobe 9**

### **3.1 Partikeltemperaturmålinger 11**

## **4 Belægningstemperaturer målt på Avedøre Biokedlens overhedere 13**

## **5 Diskussion og konklusion 15**

## **6 Referencer 16**

## Forord

Infrarød måleteknik kan med fordel anvendes indenfor forbrændingsområdet til overfladetemperaturmålinger af flader og belægninger i såvel laboratorieforsøg og kedler i drift. Den korte måletid, omkring 160  $\mu$ s, tillader tillige overfladetemperaturmålinger af gasbårne brændende partikler. I dette arbejde er der anvendt et højkvalitets IR-kamera. Risø råder over et bredt program af avanceret infrarødt måleudstyr og DANAK akkrediterede IR-kalibreringsfaciliteter til temperaturmåling af såvel overflader, væske, partikler og gas.

# 1 Introduktion

Denne opgave er en del af PSO projektet FU 2203 Biostøvfyning. Som en del af biostøvfyringsprojektet, skal det vises, at det er muligt på kontrolleret vis signifikant at reducere klorindholdet af belægninger på en belægningsprobe, der er placeret i en partikelbærende gasstrøm fra fastbrændselsreaktoren på Afdeling for Kemiteknik på Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Der er i projektet lagt vægt på, at såvel brændslerne som forholdene, hvorunder eksperimenterne foregår, repræsenterer de forhold, der er kendetegnende for Avedøreværket og Amagerværket.

Således testes Europæisk bøgetræstøv fra Junckers biopillefabrik og kommercielt indkøbt Estisk grantræ samt Canadisk bark, der skal afbrændes på Avedøreværket samt dansk halm, der skal afbrændes på Amagerværket. I projektet undersøges primært calcium - fosfor (CAP) baserede additiver, som der i nogle år har været gode erfaringer med (Sørensen 2001, Bentzen 2003, Sørensen 2003, Henriksen 2003). I det sidste tilfælde gav en overstøkiometrisk tilsætning af monocalciumfosfat, tilsat på ReaTech's foranledning, ved forsøg i 2001 udført på træoverhederen på Enstedværket, stærkt reduceret klorflux til belægningerne, når det molære forhold mellem doseret fosfor og kalium i flisen var ca. 1.33 og 2.67.

De calcium-fosfor baserede additiver testes i biostøvfyringsprojektet i forskellige mængder og i kombination med andre additiver. Additiverne tilsættes i overensstemmelse med tidligere beskrevne metoder (Sørensen 2001), idet der tages hensyn til, at opgaven primært er at reducere korrosion af vægge og hedeblader ved at fjerne klor fra belægningerne.

Belægningsdannelsen på sonden, herunder såvel belægningernes mængde og klor koncentrationen i belægningerne er især en funktion af

- 1) Den kemiske sammensætning af den uorganiske fraktion af brændslerne
- 2) Additivmængde og sammensætning
- 2) Procesbetingelserne i faststofreaktoren
- 3) Fraktionsopdeling af restprodukter fra faststofreaktoren
- 4) Temperaturen af den opvarmede gasstrøm der passerer belægningsproben
- 5) Temperaturer af individuelle partikler
- 6) Probetemperaturen,  $T_p$
- 7) Belægningstemperaturen,  $T_B$  (placerings- og tidsafhængig)
- 8) Omgivelserne, strålingstemperaturer.

De faktiske temperaturer af probe, belægninger, gas og stråling har stor betydning for belægningernes mængde og sammensætning. De har således også betydning for effekten af de additivmængder, der skal tilsættes for fuldstændig at fjerne klor fra belægningerne. Ved meget høje gas- og belægningstemperaturer forefindes kalium i belægninger i høj

grad som kaliumsilikatslagge og KCl i høj grad i gasfasen. Ved lavere gas- og belægningstemperaturer forefindes kalium i belægningerne fortrinsvist som KCl.

Indtil kort før den største del af forsøgsserien gennemført i biostøvfyrringsprojektet blev der anvendt en røggasafgangstemperatur,  $T_R$ , fra reaktoren på:  $750^{\circ}\text{C}$ , ( $720^{\circ}\text{C}$  til  $800^{\circ}\text{C}$ ) og en probe sæt-temperatur på:  $T_P=460^{\circ}\text{C}$ , ( $430^{\circ}\text{C}$  til  $504^{\circ}\text{C}$ ). Ombygninger af reaktoren har gjort det muligt, at hæve røggastemperaturen til  $T_R \approx 1000^{\circ}\text{C}$ .

Efter de første forsøg i biostøvfyrringsprojektet – gennemført med Canadisk bark d. 28/5 og d. 3/6 2003 blev en ombygning af fastbrændselsreaktoren foretaget med henblik på at hæve røggasafgangstemperaturen  $T_R$ . I forsøgene tilstræbes at  $T_R=800^{\circ}\text{C}$  og  $T_P=550^{\circ}\text{C}$ . Belægningsproben på faststofreaktoren befinder sig i fri luft delvist uafskærmet fra omgivelserne. Belægningernes temperatur kan derfor ikke umiddelbart bestemmes som funktion af tiden under et givet forsøg.

Derfor besluttes det på foranledning af ReaTech og Energi E2, at det er hensigtsmæssigt at måle overfladetemperaturudviklingen af belægningsproben og belægninger med Risøs IR-kamera under et udvalgt forsøgsforløb af ca. 3.5 timers varighed. Desuden måles  $T_R$  med en uafhængig termoføler og tillige måles temperaturforløb af brændende partikler, der rammer proben og udbrænder. Der sammenlignes efterfølgende med temperaturforløb målt med IR-kamera på overhederen i Avedøreværkets biokedel.

Den første forsøgsserie med IR-kamera blev gennemført d. 1. oktober 2003. To temperaturmålinger med to uafhængige termofølere viste dog, at røggasafgangstemperaturen var langt højere, end den temperatur,  $T_R$ , som blev målt med driftsreaktortermoføleren. Det blev derfor besluttet, at udskyde yderligere forsøg indtil nogle ændringer var gennemført på reaktoren.

Det opfølgende forsøg blev gennemført d. 20. Nov. 2003 med bøgetræstøv (benævnt BDF 13, eksperiment #66). I dette forsøg er der god overensstemmelse mellem røggastemperaturerne, der måles med driftstermoføleren,  $T_R$ , og målinger gennemført med en uafhængig termoføler

Resultaterne af temperaturmålinger fra det efterfølgende forsøg antages at være karakteristiske for alle efterfølgende forsøg, gennemført i biostøvfyrringsprojektet. De danner således baggrund for de valg af additivkombinationer og additivmængder, der anvendes til forsøgene (Sørensen 2004), hvor et af formålene er at reducere klorindholdet i belægningerne så meget som muligt.

På forsidebilledet ses til venstre for midten belægningsproben fotograferet med et infrarødt kamera. Den opvarmede gasstrøm bevæger sig fra højre mod venstre. Øverst i billedet ud for proben (hvid plet på grøn baggrund) ses en brændende trækulpartikel med en temperatur på ca.  $797^{\circ}\text{C}$ .

## 2 Apparatur

Probens overfladetemperaturer samt partikeltemperaturer blev målt med Risøs IR-kamera Radiance PM med 25 mm linse. Afstanden til belægningsproben er ca. 100 mm. IR-kameraet er monteret med et specielt optisk filter for at undgå målefejl p.g.a gasstråling. IR-billederne har en opløsning på  $256 \times 256$  pixels, svarende til en pixelstørrelse på ca.  $d=0.2$  mm med den valgte optik og afstand til belægningsproben.





*Figur 1. Sønnik Clausen (Risø) og Lasse Holst Sørensen (ReaTech) ved forsøgsopstillingen inklusiv IR-kamera og fastbrændselsreaktor i baggrunden.*



*Figur 2 Forsøgsopstilling med belægningsproben placeret centralt. Til højre ses spalteåbningen fra faststofreaktoren. En flamme rammer den askebelagte probe.*





Figur 3. Guilin Hu (DTU) ved fastbrændselsreaktorens kontrolpanel.

## 2.1 Forsøgsopstilling

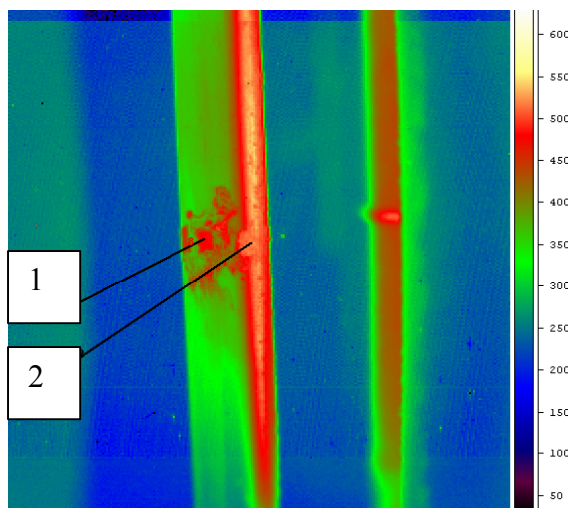
Belægningsproben er placeret i en gasstrøm i ca. 3.5 time. Den ønskede gastemperatur  $T_R$ , ved udgangen af fastbrændselsreaktoren er valgt til ca.  $800^{\circ}\text{C}$  og målt med en termoføler. Belægningsprobens metaltemperatur er målt med flere internt placerede termofølere. Maksimum probetemperatur,  $T_{P,max}$ , er i begyndelsen af eksperimentet planlagt til at skulle være lidt over  $600^{\circ}\text{C}$  og efter ca. 60 minutter til at være faldet til lidt over  $550^{\circ}\text{C}$ .

Belægningsprobens overflade er en blank rustfri ståloverflade med lavt emissionstal,  $\varepsilon$ , hvorfor en præcis overflademåling ikke er mulig uden ændring af probens overfladeegenskaber. Fire pletter påføres en specialmaling, Pyromark 2500, som er modstandsdygtig op til temperaturer på  $1100^{\circ}\text{C}$ , og som har et højt og velbestemt emissionstal på ca.  $\varepsilon^*=0.94$ .

Figur 4 viser en måling, der er foretaget kort efter, at belægningsproben er indsat i fastbrændselsreaktorens røggas og efter, at en beskeden belægningsdannelse har fundet sted. To af de 4 malede pletter ses tydeligt i Figur 4. Overfladetemperaturerne,  $T_{1,IR}$  (1 til venstre) og  $T_{2,IR}$  (2 til højre centralt mod reaktor) bestemmes i disse malede områder med en nøjagtighed på ca.  $10^{\circ}\text{C}$ . Dette svarer til en usikkerhed på emissiviteten  $\Delta\varepsilon(550^{\circ}\text{C})\approx 0.06$  og  $\Delta\varepsilon(700^{\circ}\text{C})\approx 0.04$ .

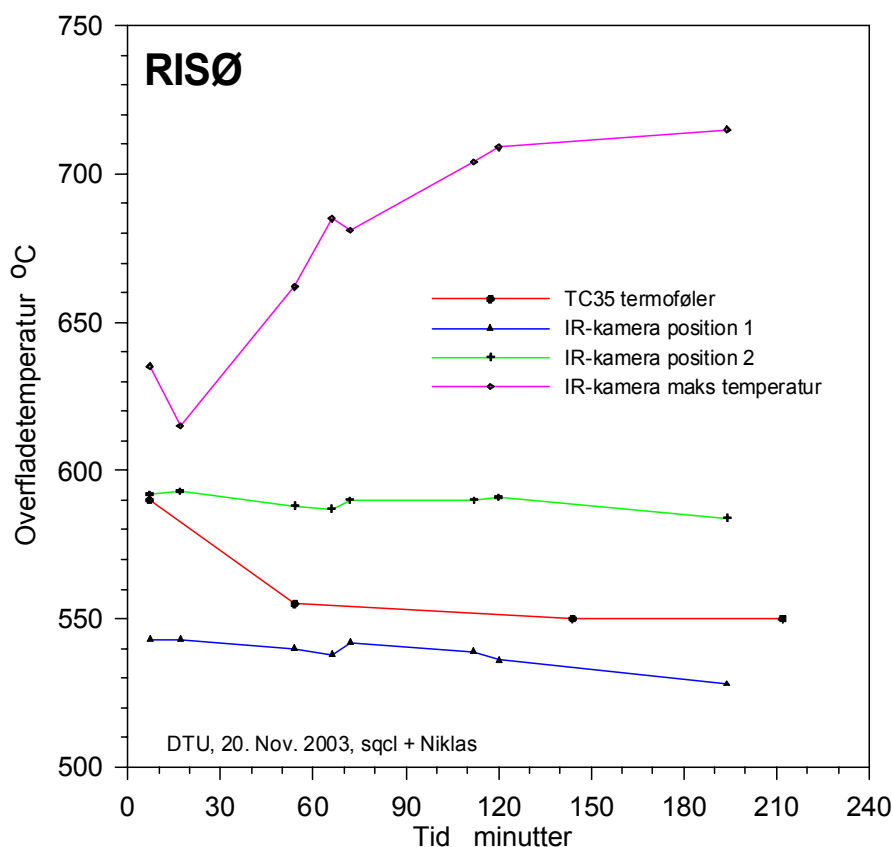
De karakteristiske farver på figuren repræsenterer specifikke temperaturer anvist i en kolonne til højre for billedet. Blå områder på billedet er baggrund. Proben er det grønne og rød/gule felt ca. i midten af billedet. Fastbrændselsreaktorens åbning er det grønne og røde felt til højre.

### 3 Temperaturmålinger på belægningsprobe



Figur 4 Placering af temperaturmålingspunkterne 1 (tv) og 2 (th), som påført belægningsproben med Pyromark 2500. Maks. temperatur ses af lag mod reaktor. De blå områder på billedet er baggrunden. Det grønne og rød/gule felt til venstre i midten af billedet er proben. Det grønne og røde felt til højre er åbningen fra faststofreaktoren.

Temperaturen af belægningen, der ligger umiddelbart op til den påmalede plet (punkt 2) og IR-temperaturen,  $T_{IR,2}$ , af den påmalede plet selv er omtrent ens og har således omtrent samme farve. Dette er udtryk for, at belægningens og plettens emissionstal er næsten ens – dvs.  $\epsilon \approx \epsilon^* \approx 0.94$ . Det estimeres at usikkerheden på emissionstallet er:  $\Delta\epsilon < 0.04$ , og antages det, at dette emissionstal med god tilnærmelse fastholdes inden for denne afvigelse for den relativt store lagtykkelse, der bygges op under forsøget, betyder det at belægningstemperaturen under hele forsøget er bestemt med en nøjagtighed bedre end ca. 10°C. I Figur 5 ses et plot af de målte temperaturer.



Figur 5 Målte temperaturer med termoelement TC35 (rød kurve) og IR-kamera (øvrige kurver).

I forsøget er  $T_R \approx 800^\circ\text{C}$ . Probetemperaturen er styret efter termofølertemperaturen "TC35". Denne er initielt sat til ca.  $600^\circ\text{C}$  og måles til  $590^\circ\text{C}$  for derpå at falde til ca.  $550^\circ\text{C}$ , hvor temperaturen fastholdes under resten af eksperimentet. De øvrige temperaturer er målt med IR-kamera. Ifølge de gennemførte IR-målinger er belægningstemperaturen positionsafhængig og tidsafhængig, se figur 5. Overfladetemperaturerne af belægningerne måles til mellem ca.  $530^\circ\text{C}$  og  $715^\circ\text{C}$ . Områder, der vender frontalt og centralt ind mod reaktoren har de højeste temperaturer.

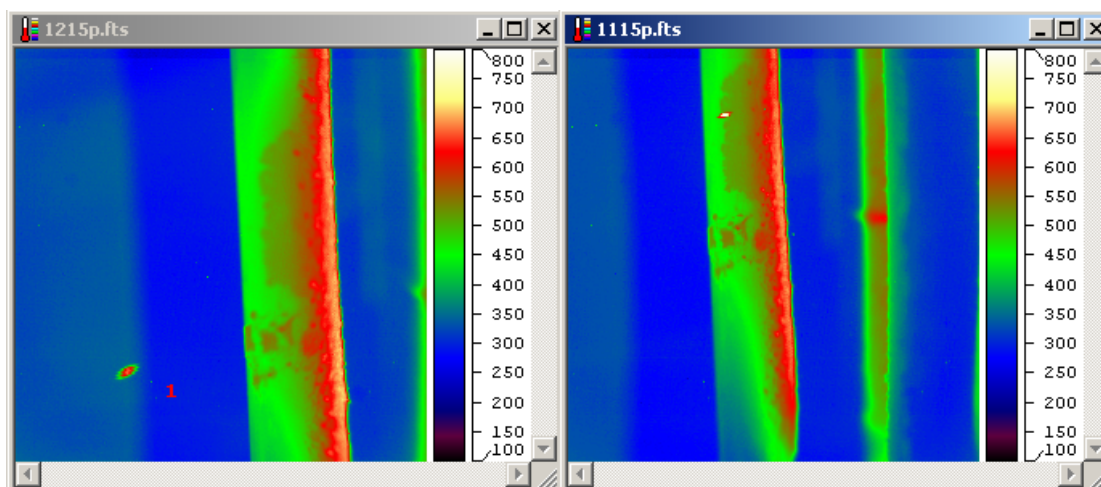
I den centrale position 2 måles i starten af eksperimentet er  $T_{IR,2} \approx TC35$ .  $T_{IR,2}$  forbliver ca.  $590^\circ\text{C}$  under hele forsøget. Mens TC35 falder til  $550^\circ\text{C}$ , falder  $T_{IR,2}$  svagt fra  $540$  til  $530^\circ\text{C}$ . Efter ca. 5 minutter er  $T_{M,IR} = TC35 + 40^\circ\text{C} = 630^\circ\text{C}$ , efterfølgende stiger  $T_{M,IR}$  omtrent lineært som funktion af tiden til ca.  $710^\circ\text{C}$  i løbet af de første 120 minutter, mens belægningstykkelsen vokser. Efter 120 minutter og indtil forsøgets afslutning forekommer der kun en meget lille temperaturstigning til ca.  $T_{M,IR} = 715^\circ\text{C}$ .

Den maksimale overfladetemperatur af belægningen ind mod reaktoren stiger således i alt med op til ca.  $100^\circ\text{C}$  som funktion af belægningstykkelsen. Temperaturen i det centrerede punkt 2 fastholdes på ca.  $T_2 \approx 590^\circ\text{C}$ . Den højeste temperatur er således ca.  $90^\circ\text{C}$  lavere og temperaturen af det centrale position 2 ca.  $210^\circ\text{C}$  lavere end den målte gasafgangstemperaturen fra reaktoren. I position 1, måles en temperatur, der er ca.  $270^\circ\text{C}$  lavere end gasafgangstemperaturen.

### 3.1 Partikeltemperaturmålinger

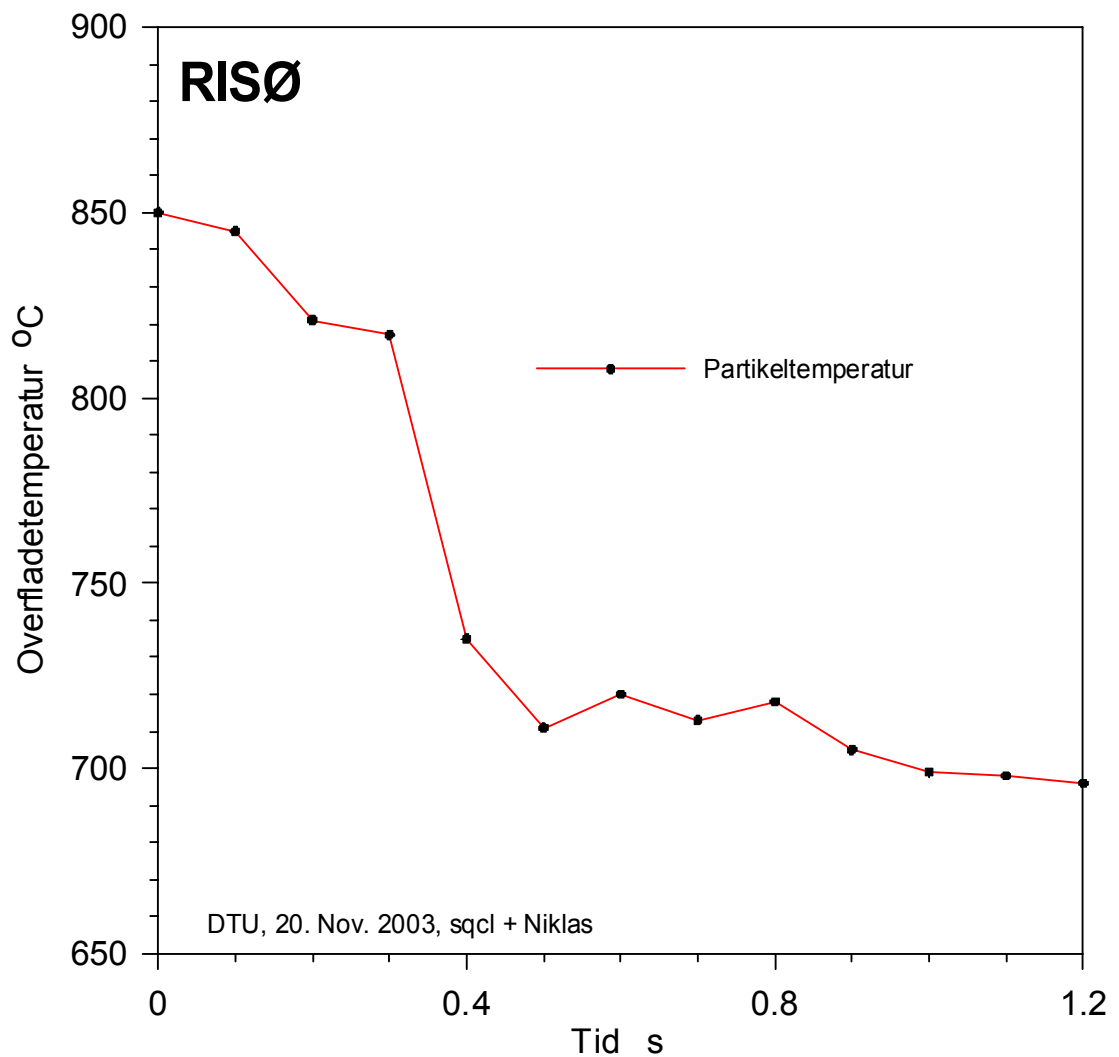
Under belægningstemperaturmålingerne, blev partikeltemperaturforløb samtidigt målt for individuelle partikler, der passerede eller ramte proben. I det følgende er dette illustreret ved eksempler. Det er muligt at uddrage statistisk signifikante oplysninger om størrelses- og temperaturfordeling for partiklerne, men i det tilfælde, skal der analyseres et stort antal billeder ved billedbehandling,

I Figur 6 til venstre ses en relativt stor kokspartikel, som har passeret belægningsproben. Temperaturen af partiklen er målt til ca. 663°C. I Figur 6 til højre ses en relativt stor kokspartikel, med temperaturen ca. 797°C. Partiklen har omtrent samme temperatur som afgangsgassen og en størrelse på ca. 600 µm.



Figur 6 Eksempel på bestemmelse af partikeltemperatur. Temperatur af partikel i billede tv er 663°C (kl. 12:15) og i billede th er 797°C (kl. 11:15). Den varme røggas kommer strømmende ind på proben fra højre mod venstre.

I Figur 7 ses et målt temperaturforløb for en partikel, der sætter sig og udbrænder på belægningsproben. I det aktuelle tilfælde ses en temperaturspids på ca. 850°C. Dette er en signifikant overtemperatur i forhold til den maksimale temperatur af belægningen og også en temperatur over gastemperaturen. Partiklen fastholder sin overtemperatur i ca. 0.3 sekunder. Derefter falder temperaturen til lidt over 700°C på ca. 0.2 s, hvorpå probebelægningstemperaturen i den specifikke position nås inden for yderligere ca. 0.5 sekund.



Figur 7 Eksempel på temperaturudvikling for påbrændt 600  $\mu\text{m}$  partikel på belægningsprobe kl.12:26. Temperatur og størrelse af partikel ses tydeligt i billedet. Partiklens temperatur falder til belægningstemperaturen i løbet af ca. 1 s.

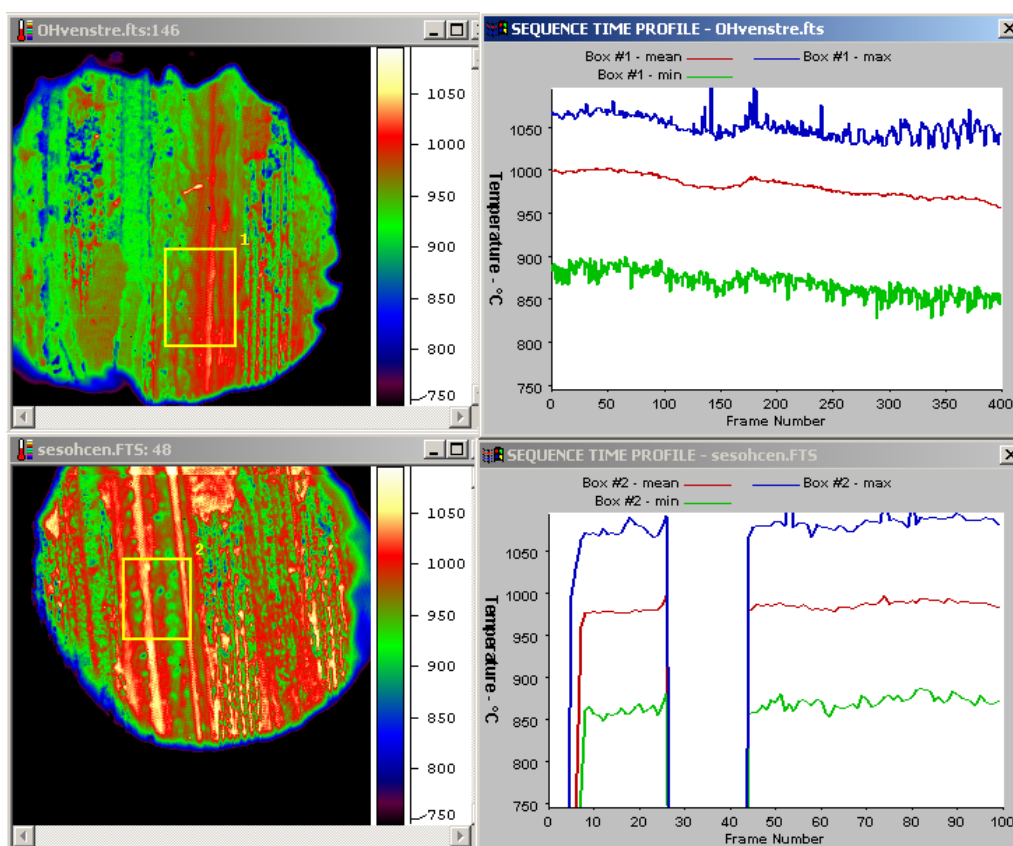
Figuren illustrere, at brændende partikler, der sætter sig i belægningerne kan give anledning til store lokale temperaturforøgelser. Dette har betydning for disse partiklers vedhæftningsegenskaber og således for belægningernes dannelse, kemiske sammensætning og smelteegenskaber samt hermed for slaggedannelsen samt afledt heraf for belægningernes korroderende virkning på ståloverflader.

I det følgende vil vi sammenholde resultaterne fra fastbrændselsreaktoren med resultater opnået på Avedøreværkets biokedel.

## 4 Belægningstemperaturer målt på Avedøre Biokedlens overheder

Følgende arbejde er udført i projekt FU3205 "Optimering af risteforbrænding vha IR-kamera" i 2003, og medtages her, for at belyse de faktiske temperaturforhold ved overhederne på E2's Avedøre biokedlen under halmforbrænding. Målinger er foretaget den 4. december 2003 med Risøs IR-kamera, Radiance PM (opløsning: 256 x 256 pixels) monteret 25 mm linse og der er anvendt et optisk filter for at undgå målefejl pga. absorption og termisk varmestråling mht. røggassen.

To korte måleserier blev udført ved venstre og midterste måleport ved overhederen.



Figur 8 Termografisk billede af overhederrør foran måleporten i venstre side (øverst) og i midten af kedlen (nederst). Tilhørende målte overfladetemperaturer er vist til højre for billede for det markerede felt. Maksimum (blå), middel (rød) og minimum (grøn) temperaturer er vist indenfor det i billedet markerede felt svarende til det overhederrør som er tættest på måleporten. Der er 100 ms mellem hvert billede (frame) dvs temperaturkurver er målt over hhv 10s (nederst) og 40s (øverst).

Det er ikke umiddelbart let at genkende overhederrør i det termografiske billede, da overfladetemperaturen ikke adskiller sig væsentligt fra omgivelserne, se Figur 8.

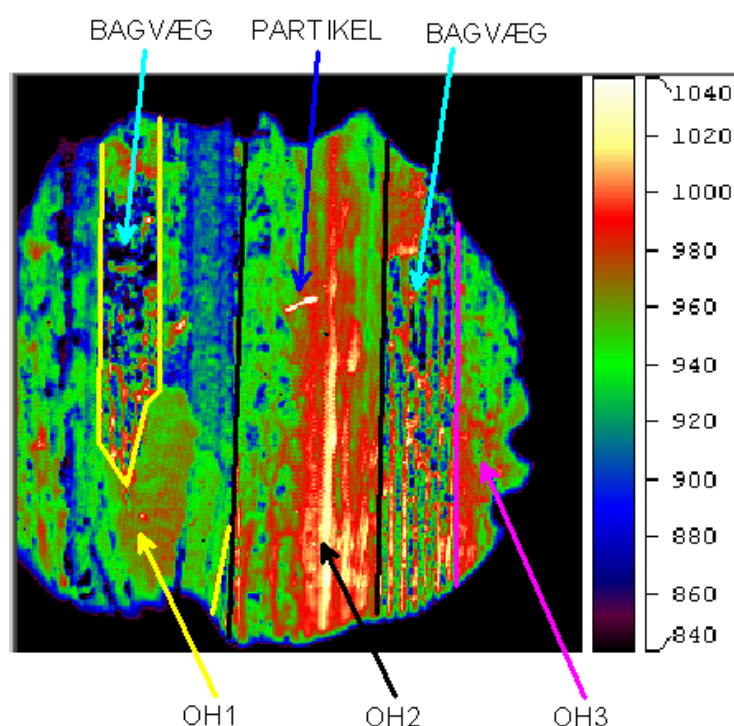
Meget varme omgivelser og hyppige overtrykspulser fra kedlen med varm røggas vanskeliggjorde målingerne. Det statistiske grundlag er derfor begrænset til to korte



måleserier på hhv. 100 og 400 billeder. Problemerne kan løses i fremtidige målinger ved at fremstille en simpel adaptor med spuleluft, og etablere køling for udstyr.

I Figur 9 ses et eksempel på påbrænding af et halmstrå på overheder 2, OH2's overflade. Partikeltemperaturen når en spidsværdi på 1070°C og udbrændingen tager ca. 5s, hvilket kan observeres pga. partiklens overtemperatur.

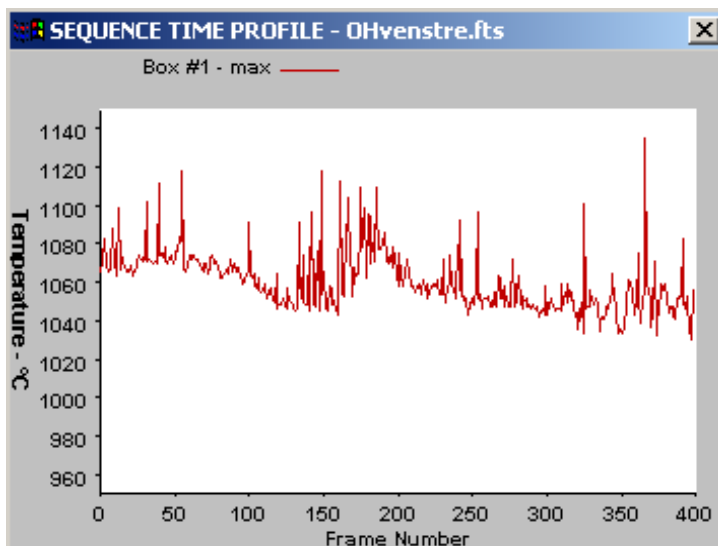
I Figur 9 er det ene billede tegnet op for bedre at kunne skelne overhederne fra bagvæggen. Det er dog let at identificere overhederne i en sekvens af billeder, da overhederne svinger lidt frem og tilbage på en fast baggrund/bagvæg. Temperaturvariationer formodes primært at skyldes forskelle i belægningstykkelsen. Det bemærkes, at overfladetemperaturen af de to overheder nærmest måleport til venstre og i midten er meget ens, hvilket tyder på ens røggastemperatur ud for de to porte.



Figur 9 Øverste billede tv i Figur 8, hvor 3 synlige overheder er optegnet med gul, sort og cyan. På OH1 ses partikelafsaetninger i et område ud for pilen, som et område med 20 - 50°C højere overfladetemperatur. På OH2, forrest, ses påbrændt halmstrå (blå pil) tydeligt. Th. (cyan) ses OH3. Koldeste områder ses på bagvæggen svarende til ca. 750°C.

Partikeltemperaturen af halmstrå i røggassen ligger på ca. 1070 – 1140°C ud for venstre måleport, se. Figur 10. Dette skal sammenlignes med en middelloverfladetemperatur i billedet på 930 - 960°C. Partikeltemperaturerne ud for den midterste måleport ligger på samme niveau.





Figur 10 Maksimum temperaturer i billeder ud for venstre måleport i sekvens på 400 billeder over 40s. Partikeltemperaturer ses som temperaturspidser, og hyppigheden af temperaturspidserne afspejler partikelkoncentrationen. Det vil være forholdsvis simpelt at lave en partikeltemperaturanalyse ved billedbehandling.

## 5 Diskussion og konklusion

Temperaturen af en belægningsprobe placeret i en gas- og partikelstrøm fra en fastbrændselsreaktor er bestemt som funktion af tid og belægningsudvikling. Belægningsprobens metaloverfladetemperatur er styret med en termoføler til at være 600°C faldende til 550°C under forsøget. Gasstrømmens udgangstemperatur fra fastbrændselsreaktoren er bestemt til ca. 800°C ligeledes med en termoføler. Den maksimale IR-målte temperatur, " $T_{M,IR}$ " er i begyndelsen af eksperimentet ca.  $T_{M,IR} = 630^{\circ}\text{C}$ , hvilket er en overtemperatur på ca. 40°C i forhold til den målte probetemperatur. Efterfølgende stiger  $T_{M,IR}$  omtrent lineært i løbet af de første 120 minutter, mens belægningen bygger op. Efter 120 minutter og indtil forsøgets afslutning sker der kun en meget lille yderligere temperaturstigning til ca.  $T_{M,IR} = 710^{\circ}\text{C}$ .

På placeringer på proben, hvor belægningen er tynd forbliver temperaturen stabil nær probens temperatur, som er ca. 550°C. Den højeste belægningstemperatur er målt til 710°C, hvilket er 160 °C over probetemperaturen, men 90°C under gastemperaturen. Belægningernes overfladetemperaturer ligger mellem røggastemperaturen og probemetaltemperaturen og er bestemt af varmeovergangene mellem gas og belægning, probe og belægning, belægningens varmeledningsevne samt varmestrålingudvekslingen mellem proben, ydre reaktorflader samt forsøgshallen.

Dersom der i stedet anvendes meget varme omgivelser, hvor strålingstemperaturen er højere end gastemperaturen, vil overfladetemperaturen af en tykkere belægning i højere grad forventes at nærme sig eller eventuelt overstige lokale gastemperaturer.

Overfladetemperaturer af såvel omgivelser som overhederne i Avedøre biokedel er 850°C – 1000°C. Dette er væsentligt højere end i faststofreaktorforsøgene, hvor de målte belægningsoverfladetemperaturer er 550-710°C.

Temperaturområdet 550-710°C for belægningsdannelsen simulere således fortrinsvis de indre belægningsfraktioner på overhederen, hvor den korrosionsdannende klorkoncentrationen i belægningen forventes at være størst.

Vi takker Energi E2 og Elkraft for finansiering af herværende arbejde, der er foregået i PSO projektet: ”Biostøvfyring”. Temperaturmålinger ved OH Avedøre biokedel er foretaget i projekt FU3205 ”Optimering af risteforbrænding vha IR-kamera” ledet af Jørgen Peter Jensen, Energi E2.

## 6 Referencer

Sørensen L.H., Fjellerup J., Henriksen U. (2001). Method for reducing agglomeration, sintering and deposit formation in gasification and combustion of Biomass. EP 1 222 240 B1 and US patent No.: US 6,615,751 B1.

Jens Dall Bentzen, Claus Hindsgaul, Ulrik Henriksen and Lasse Holst Sørensen. Poster and paper V2.40 in proceedings of 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam June 2003, pp. 577-580

Sørensen L.H. (2003). Forsøgsrapportering, Tilsætning af DCP og CAP ved flisfyring på Ensted Træoverhederen. Bilag i Henriksen N (2003) Forebyggelse af i flisfyrede kedler. PSO-projekt nr. 3142. Elsam notat no. 02-0346d. Fredericia, Denmark. (in Danish)

Henriksen N (2003) Forebyggelse af i flisfyrede kedler. PSO-projekt nr. 3142. Elsam notat no. 02-0346d. Fredericia, Denmark. (in Danish)

Sørensen L.H., Henriksen U., Kringelum J.V., Fenger L., Vesterskov B., Sørensen K., Barløse J., Larsen F. (2004) Reduktion af belægningsdannelse på Energi E2's Kraftvarmeanlæg.

## Mission

At fremme en værdiskabende og miljømæssigt forsvarlig teknologisk udvikling inden for energi, industriel teknologi og bioproduktion gennem forskning, undervisning, innovation og rådgivning.

## Vision

Risøs forskning **flytter grænser** for forståelsen af naturens processer og sammenhænge helt ned til den molekylære nanoskala.

Resultaterne **sætter trend** for udviklingen af bæredygtige teknologier inden for energi, industri og bioteknologi.

Indsatsen **gavner** det danske samfund og fører frem til nye industrier i milliardklassen.